

Non-linear optical array (grating) and method of production

Publication number: FR2704953 (A1)
Publication date: 1994-11-10
Inventor(s): ERIC LALLIER; DOMINIQUE DELACOURT; MICHEL PAPUCHON
Applicant(s): THOMSON CSF [FR]
Classification:
- **International:** G02F1/37; G02F1/35; G02F1/355; G02F1/39; G02F1/35; (IPC1-7): G02F1/35
- **European:** G02F1/37
Application number: FR19930005247 19930503
Priority number(s): FR19930005247 19930503

Also published as:

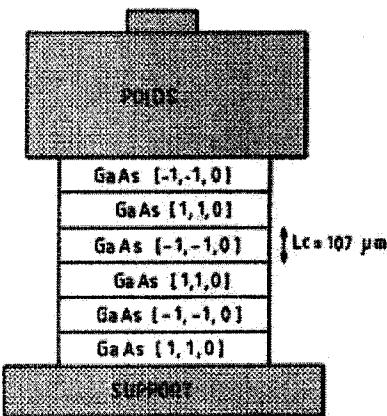
FR2704953 (B1)

Cited documents:

EP0497375 (A2)

Abstract of FR 2704953 (A1)

The invention relates to a method producing a non-linear optical array in which thin sheets of non-linear crystalline materials are stacked so that the sign of the non-linear coefficient of the stack is alternately positive and negative, the stack is then heated to a temperature such that, since the thin sheets are in contact with each other, there is chemical adhesion between the faces of the thin sheets. This chemical adhesion may occur by atomic rearrangement at the interfaces of the thin sheets. Application: non-linear optical array for optical devices such as frequency doublers, frequency mixers and parametric oscillators.



Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 704 953

(21) N° d'enregistrement national :
93 05247

(51) Int Cl⁵ : G 02 F 1/35

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 03.05.93.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : Société dite: THOMSON-CSF — FR.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 10.11.94 Bulletin 94/45.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(72) Inventeur(s) : Lallier Eric, Delacourt Dominique et
Papuchon Michel.

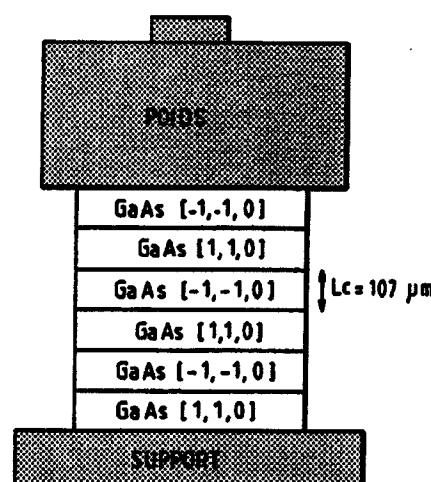
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Lardic René Thomson-CSF SCPI.

(54) Réseau optique non-linéaire et procédé de réalisation.

(57) L'invention concerne un procédé de réalisation d'un
réseau optique non-linéaire selon lequel on empile des la-
mes de matériaux cristallins non-linéaires de façon que le
signe du coefficient non-linéaire de l'empilement est alter-
nativement positif ou négatif, puis on chauffe à une tempé-
rature telle que, les lames étant en contact les unes avec
les autres, on ait une adhésion chimique entre les faces de
lames. Cette adhésion chimique peut se faire par réarran-
gement atomique aux interfaces des lames.

Application: Réseau optique non-linéaire pour dispositifs
optiques tels que doubleurs de fréquences, mélangeurs de
fréquences, oscillateurs paramétriques.



FR 2 704 953 - A1



RESEAU OPTIQUE NON -LINEAIRE ET PROCEDE DE REALISATION

L'invention concerne un réseau optique non-linéaire et son procédé de réalisation.

5 Les opérations de conversion de fréquence optique, basées sur des processus non-linéaires d'ordre 2 (doublage de fréquence, mélange de fréquences, fluorescence ou oscillation paramétrique), nécessitent pour être efficaces, que soit vérifiée une condition d'accord de phase entre d'une part la polarisation non-linéaire induite par l'illumination incident, et d'autre part les ondes engendrées par l'interaction 10 non-linéaire. Si l'on considère le cas le plus général de trois ondes 1, 2 et 3 interagissant dans le cadre d'un processus non-linéaire d'ordre 2, les fréquences optiques respectives w_1 , w_2 et w_3 de ces trois ondes doivent également vérifier la conservation de l'énergie photonique exprimée par :

$$(1) \quad w_1 + w_2 = w_3$$

15 La condition d'accord de phase s'écrit, elle :

$$(2) \quad n_1 \cdot w_1 + n_2 \cdot w_2 = n_3 \cdot w_3$$

où n_1 , n_2 , n_3 sont les indices de réfractions du matériau considéré, aux fréquences optiques w_1 , w_2 et w_3 respectivement.

En général, la condition (2) n'est pas satisfaite d'emblée du fait de la 20 dispersion spectrale de l'indice de réfraction ($n_1 \neq n_2 \neq n_3$). Il est alors possible d'avoir recours à des matériaux non-linéaires biréfringents présentant un coefficient non-linéaire qui permette l'interaction entre les ondes 1, 2 et 3 polarisées suivant au moins deux axes différents. Par exemple, on peut aboutir à l'accord de phase recherché en utilisant une onde 1 polarisée suivant un axe x, une onde 2 polarisée 25 suivant un axe y et une onde 3 polarisée suivant un axe z, de telle sorte que :

$$(3) \quad n_{1,x} \cdot w_1 + n_{2,y} \cdot w_2 = n_{3,z} \cdot w_3$$

où $n_{1,x}$ est l'indice "vu" par l'onde 1, $n_{2,y}$ est l'indice "vu" par l'onde 2, et $n_{3,z}$ est l'indice "vu" par l'onde 3. Néanmoins, cette technique d'accord de phase limite de manière très sensible les matériaux exploitables qui doivent présenter des non-linéarités et une biréfringence compatibles avec cette technique d'accord de phase. On se prive en particulier de l'emploi de coefficients non-linéaires très élevés dans certains matériaux qui ne permettent pas l'accord de phase par biréfringence. Or une autre méthode rend possible l'accord de phase recherché. Il s'agit du Quasi-Accord de Phase (QAP) qui consiste à perturber périodiquement l'interaction non-linéaire afin de 30 compenser le déphasage accumulé à cause de la dispersion comme cela est décrit dans le document J.A. Armstrong, N. Bloembergen, J. Ducuing and P.S. Pershan,

"Interactions between light waves in a nonlinear dielectric", Physical Review, Vol. 127, n° 6, pp. 1918-1939, 1962. Lorsque l'opération suivante est vérifiée :

$$(4) \quad \Delta w = n_3 \cdot w_3 - n_1 \cdot w_1 - n_2 \cdot w_2 = m \cdot c / \Lambda$$

le QAP est obtenu dans l'ordre m (entier). c représente la célérité de la lumière dans le vide et Λ la période de la perturbation mise en jeu. Parmi les perturbations qui peuvent être envisagées, la modulation du coefficient non-linéaire utilisé, et mieux encore la modulation de son signe, est la plus efficace. Dans l'ordre 1, le QAP conduit à changer le signe du coefficient non-linéaire toutes les longueurs de cohérence L_c . Cette longueur qui correspond à la longueur minimale au bout de laquelle le déphasage à compenser a atteint π , est donnée :

$$(5) \quad \Delta k \cdot L_c = \pi$$

$$\text{où} \quad \Delta k = 2 \cdot \pi \cdot \Delta w / c$$

Lorsque le QAP est obtenu dans l'ordre 1, on a bien :

$$(6) \quad \Lambda = c / \Delta w = (2 \cdot \pi \cdot c) / (\Delta k \cdot c)$$

$$15 \quad \Lambda = 2 \cdot L_c$$

Pour atteindre le Quai Accord de Phase dans l'ordre 1, il est aussi possible de placer les unes à la suite des autres lames de matériau d'épaisseur L_c mais dont le signe du coefficient non-linéaire est changé à chaque lame. Ceci peut être obtenu en alternant périodiquement l'orientation des lames associées comme représenté sur la 20 figure 1.

L'objet de l'invention consiste non pas à associer ces lames en les maintenant mécaniquement de manière indépendante comme cela est réalisé dans le document D.E. Thompson, J.D. Mc Mullen, and D.B. Anderson, "Second Harmonic generation in GaAs "stack of plates" using high power CO₂ laser radiation", Applied Physics Letters, Vol. 29, n° 2, pp. 113-115, 1976 mais à les assembler de manière solide les unes aux autres par des techniques fondées sur le réarrangement atomique aux interfaces concernés (voir le document Y.H. Lo, R. Bhat, D.M. Hwang, M.A. Koza, and T.P. Lee, "Bonding by atomic rearrangement of InP/InGaAsP 1.5 μ m wavelength lasers on GaAs substrates", Applied Physics Letters 58 (18), pp. 1961-25 1991). Ceci aurait pour conséquence de recréer un matériau "massif" mais 30 périodique permettant l'accord de phase et pouvant être réalisé à partir de cristaux aux propriétés non-linéaires très élevées.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un réseau optique non-linéaire comportant un empilement de lames de matériaux cristallins non-

linéaires dont le signe du coefficient non-linéaire est alternativement alternativement positif et négatif caractérisé en ce qu'il comporte :

- une première étape de réalisation desdites lames ;
- une deuxième étape d'empilement de ces lames ;
- 5 - une troisième étape de chauffage de l'empilement de lames pour réaliser l'adhésion chimique entre elles des faces des lames.

L'invention concerne également un réseau optique non-linéaire comportant des alternances de couches de matériaux non-linéaires présentant des alternances de signes de coefficients non-linéaires, caractérisé en ce qu'il comporte 10 une alternance monolithique de lames de matériaux cristallins non-linéaires de même nature ou non dont les signes des coefficients non-linéaires sont alternativement positifs et négatifs.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement dans la description qui va suivre et dans les figures annexées qui 15 représentent :

- la figure 1, une illustration de dispositif connu dans la technique ;
- la figure 2, un dispositif selon l'invention ;
- la figure 3, un procédé de réalisation selon l'invention.

Dans ce qui suit nous allons décrire un exemple de procédé de 20 construction selon l'invention d'un matériau artificiel et monolithique à partir d'un matériau non-linéaire de base. Parmi les processus de conversion de fréquence que nous avons évoqués, prenons l'exemple du doublage de fréquence d'un laser CO₂ émettant à la longueur d'onde de 10.6 μm . Pour le matériau de base considérons le cas 25 du GaAs, un matériau du groupe 43m à fort coefficient non-linéaire mais non exploitable par les techniques d'accord de phase habituelles fondées sur la biréfringence. Pour une telle interaction la longueur de cohérence Lc est d'environ 107 μm , dimension compatible avec la réalisation de lames d'épaisseur Lc.

Pour réaliser la structure on utilisera par exemple des lames de GaAs dont 30 le plan est perpendiculaire à la direction [1, 1, 0] afin de bénéficier du coefficient non-linéaire d₃₆ ($> 100 \text{ pm/v}$). De façon plus générale on utilisera des lames de matériau cristallin dont le plan est perpendiculaire à une direction [1, 1, 0] ou [1, 0, 1] ou [0, 1, 1]. Ces lames seront polies sur leurs deux faces puis soigneusement préparées dans des conditions similaires à celles couramment utilisées pour l'épitaxie de ce type de 35 matériaux. Ces lames sont mises en contact par leurs faces polies en prenant soin d'alterner périodiquement le signe de l'axe, [1, 1, 0] par exemple. Ensuite on pourra

porter l'empilement ainsi constitué à une température suffisante pour réaliser "l'adhésion" des lames aux interfaces. On pourra éventuellement exercer une pression suivant l'axe de l'empilement pour établir un meilleur contact entre les lames et favoriser l'adhésion (figure 3). Cette opération pourrait être par exemple réalisée dans 5 un bâti d'épitaxie par jets moléculaires dans des conditions de température ($\sim 600^{\circ}\text{C}$) et de pression (ultravide) similaires à celles couramment utilisées pour l'épitaxie du matériau considéré. La température à laquelle se fait cette opération pourra se faire, par exemple, à une température inférieure, égale ou avoisinant la température d'épitaxie des matériaux utilisés. L'adhésion est consécutive à un réarrangement 10 atomique s'opérant aux interfaces. Après la désorption des oxydes natifs, les surfaces en contact deviennent très réactives et de nouvelles liaisons chimiques apparaissent entre les deux surfaces. Ce processus est énergétiquement plus favorable qu'une reconstruction indépendante des deux surfaces. Les dislocations induites sont ainsi limitées à des distances très courtes de part et d'autre de l'interface. On obtient ainsi 15 un matériau artificiel et monolithique au coefficient non-linéaire périodique, mais ne présentant pas de modulation d'indice. Ce dernier point est particulièrement important puisqu'il garantit en principe l'absence de pertes optiques par réflexion aux interfaces. Ce nouveau matériau est donc utilisable dans les mêmes conditions qu'un matériau massif courant, mais il présente une dispersion effective ajustée (par le choix de la 20 période) à l'interaction envisagée.

Bien entendu la réalisation de ce type d'empilement n'est pas limitée au seul GaAs mais pourrait être menée à partir d'autres cristaux de base. C'est par exemple le cas des éléments du groupe 43m (InP, GaSb, CdTe, ZnSe, ZnTe, GaP, InAs, InSb, ...) qui présentent en général de forts coefficients non-linéaires et dont la 25 longueur de cohérence correspondant aux diverses interactions non-linéaires envisagées est compatible avec la préparation des lames constituant l'empilement. D'autres types de matériaux doivent également être considérés pour leurs propriétés non-linéaires remarquables et/ou une dispersion particulièrement faible conduisant à une longueur cohérente élevée (Te, Se, CdGaAs₂, AgGaSe₂, ZnGeP₂, ...). Dans le 30 cas où la longueur de cohérence, du fait de sa petitesse, ne permettrait pas la préparation de lames, il est toujours possible de réaliser le Quasi-Accord de Phase dans un ordre m supérieur à 1. Si on reste dans le cas qui vient d'être décrit de l'alternance périodique du signe du coefficient non-linéaire, m doit être impair et l'épaisseur de chaque lame doit correspondre au même nombre impair de longueurs de 35 cohérence. Sont également revendiqués les empilements qui feraient intervenir deux

matériaux différents présentant des coefficients non-linéaires différents (GaAs, InP, ...), le cas extrême correspondant à l'alternance de deux matériaux dont l'un ne possède pas de coefficient non-linéaire d'ordre-2 (GaAs/Si, InP/Si, ...).

5 L'opération du doublage de fréquence n'a été utilisée qu'à titre indicatif et d'autres types de conversion de fréquences pourraient bénéficier directement de l'invention. C'est le cas par exemple du mélange de fréquences et de l'oscillation paramétrique. Dans ce dernier cas, la possibilité de disposer d'un matériau à fort coefficient non-linéaire et simultanément à faibles pertes optiques est particulièrement favorable car le cristal doit être inséré dans un résonateur.

10 Enfin concernant le procédé d'adhésion des lames, une alternative pourrait consister à mettre en oeuvre une technique de diffusion localisée aux interfaces, celle-ci pouvant impliquer des conditions différentes (par exemple une température plus importante) telle qu'une température supérieure à la température d'épitaxie des matériaux utilisés.

15 Ainsi, l'invention concerne la fabrication de matériaux monolithiques artificiels dont la dispersion est ajustée afin d'optimiser le rendement des interactions optiques non-linéaires d'ordre 2, en imprimant à ces cristaux une modulation périodique de leurs propriétés non-linéaires. A partir d'un cristal de base choisi pour sa forte non-linéarité mais non plus nécessairement pour la compatibilité de ses 20 propriétés de biréfringence avec les techniques habituelles d'accord de phase, on réalise ces matériaux artificiels en associant de façon solide des lames d'orientations alternées dont l'épaisseur est ajustée pour l'interaction optique non-linéaire envisagée. L'adhésion des lames est assurée par le réarrangement atomique survenant aux différents interfaces lors d'un traitement thermique. Cette technique permet de 25 concevoir des matériaux artificiels utilisables dans les mêmes conditions que les matériaux massifs courants mais dont les non-linéarités sont bien mieux exploitable. Ils devraient être directement utilisables dans des dispositifs du type doubleur de fréquence, mélangeur de fréquences et oscillateur paramétrique, qui verraien ainsi leur efficacité fortement augmentée.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un réseau optique non-linéaire comportant un empilement de lames de matériaux cristallins non-linéaires dont le signe du coefficient non-linéaire est alternativement positif et négatif caractérisé en ce qu'il comporte :
 - une première étape de réalisation desdites lames ;
 - une deuxième étape d'empilement de ces lames ;
 - une troisième étape de chauffage de l'empilement de lames pour réaliser l'adhésion chimique entre elles des faces des lames.
- 10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la troisième étape est réalisée à une température inférieure ou avoisinant la température d'épitaxie la plus faible du ou des matériaux constituant les lames.
- 15 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la troisième étape est réalisée à une température supérieure à la température d'épitaxie des matériaux constituant les lames.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'adhésion chimique de la troisième étape est obtenue par réarrangement atomique aux interfaces entre les lames.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la troisième étape de chauffage se fait avec des forces de pression s'exerçant sur l'empilement de façon à comprimer les faces des lames les unes contre les autres.
6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la deuxième étape prévoit un empilement de lames d'un même matériau.
7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la deuxième étape prévoit un empilement de lames de coefficients non-linéaires différents en valeurs absolues.
8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la troisième étape de chauffage se fait sous ultravide.
9. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lames sont en matériaux appartenant au groupe de symétrie $\bar{4}.3\text{ m}$.
- 30 10. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque lame possède un axe cristallographique $[1, 1, 0]$ ou $[1, 0, 1]$ ou $[0, 1, 1]$ perpendiculaire à ses faces principales.
11. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lames sont en AsGa et que le chauffage se fait à une température inférieure ou avoisinant 600°C .

12. Réseau optique non-linéaire comportant au moins une alternance de couches de matériaux non-linéaires présentant des signes de coefficients non-linéaires alternés, caractérisé en ce qu'il comporte une alternance monolithique de lames de matériaux cristallins non-linéaires de même nature ou non, dont les signes des 5 coefficients non-linéaires sont alternativement positifs et négatifs.

13. Réseau optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que les lames adhèrent entre elles grâce à un réarrangement atomique aux interfaces entre les lames.

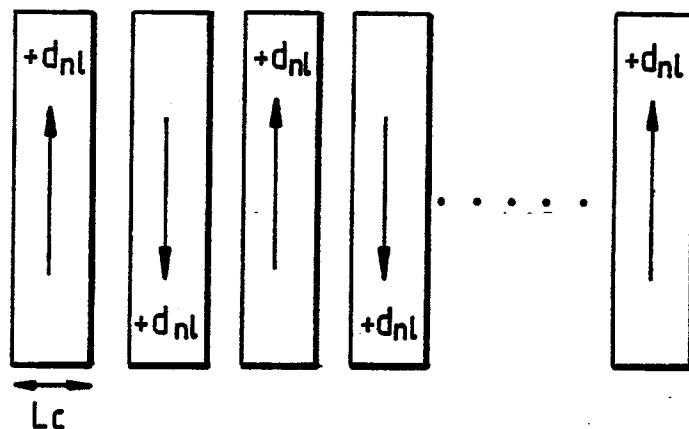
14. Réseau optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que les 10 lames sont toutes en un même matériau mais que les lames présentent des orientations cristallines alternées.

15. Réseau optique selon la revendication 13, caractérisé en ce que les lames sont de deux types de matériaux de coefficients non-linéaires de valeurs différentes, les deux types de lames étant alternés.

16. Réseau optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que les lames en matériaux cristallins sont réalisées à partir d'éléments du groupe de symétrie 4.3 m.

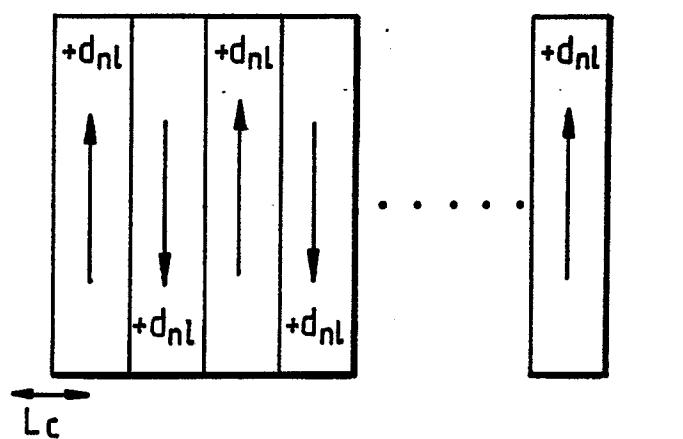
17. Réseau optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que chaque lame possède un axe cristallographique [1, 1, 0], ou [1, 0, 1] ou [0, 1, 1] 20 perpendiculaire à ses faces principales.

18. Réseau optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que certaines lames au moins sont en GaAs.



d_{nl} : coefficient non-linéaire d'ordre 2

FIG.1



d_{nl} : coefficient non-linéaire d'ordre 2

FIG.2

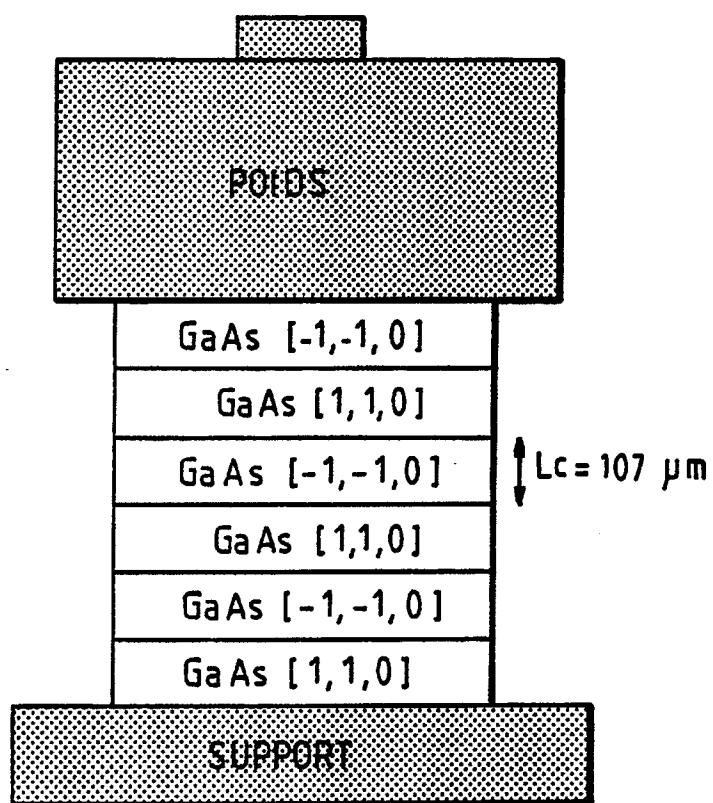


FIG.3

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
D,A	APPLIED PHYSICS LETTERS. vol. 58, no. 18 , 6 Mai 1991 , NEW YORK US pages 1961 - 1963 Y.H.LO ET AL. 'Bonding by atomic rearrangement og InP/InGaAsP 1.5 um wavelength lasers on GaAs substrates' * abrégé * ---	1-18
D,A	APPLIED PHYSICS LETTERS. vol. 29, no. 2 , 15 Juillet 1976 , NEW YORK US pages 113 - 115 D.E.THOMPSON ET AL. 'Second-harmonic generation in GaAs "stack of plates" using high-power CO ₂ laser radiation' * abrégé * ---	1,12
A	EP-A-0 497 375 (SUMIMOTO ELECTRIC INDUSTRIES) * figure 4 * -----	1,12
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G02F
2	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
	24 Janvier 1994	Galanti, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant